

論文審査の結果の要旨

氏名 家城 齊

本論文は、8章からなる。第1章はイントロダクションであり、本論文の報告対象である中性子の発見から、その寿命測定の意味、その測定の歴史について述べられている。主に、飛行中の中性子の寿命測定とボトルに捕獲された中性子の寿命測定に分けられるが、長い歴史の中で、この二手法の結果の間に大きな食い違いが出ていることが述べられている。乖離に一定の解答を与えようというのが本論文の主要な動機である。

第2章は、本実験の舞台である大強度陽子加速器研究施設、J-PARCの物質・生命科学実験施設 MLF における NOP ビームライン BL05 についてその光学特性など詳細が述べられている。スピン偏極した ^3He ガスを用いて、中性子を偏極する技術、そしてビームラインの発散について記述されている。

第3章では、実験のセットアップについて記述されている。スピン・フリップ・チョッパー (SFC) と主要検出器 Time Projection Chamber (TPC) について、その詳細が述べられている。300 kW の陽子ビームを用いた運転状態で、 1.7×10^5 の中性子が、TPC の内部に導入されたことになる。TPC は、PEEK という物質を用いて作った世界で初めてのガスチェンバーであり、その利点は、放射化が少なく、アウトガスも少ない、また十分な強度と熱耐性をもつことである。また、後半は、電子を増幅するマルチワイヤー比計数チェンバー、その読み出し回路など、またシグナルを較正するためのソース、また、オペレーションの状況についての記述に充てられている。最後に、同様の測定を行った先行実験と、ビーム、検出器、事象の発生頻度について比較し表にまとめられている。

第4章では、本実験における主要な背景事象の理解のために、中性子と物質の相互作用について述べられている。ガンマ線をともなう背景事象と信号となる中性子の β 崩壊事象の分類方法が述べられている。

第5章では、本実験のシミュレーションについて述べられている。広く用いられているシミュレーションパッケージ GEANT4 を用いて、信号事象と背景事象の双方について、その過程と結果が述べられている。

第6章では、信号事象の抽出、背景事象の削減、またその補正について述べられている。信号事象である中性子のベータ崩壊事象、また中性子と ^3He との反応事象を背景事象から分別し、カットをかけた解析の補正について、実際のデータを元にして、シミュレーションとの比較を援用し、詳細な見積もりが行われている。また、複数の事象が重なってしまうパイルアップについても見積もりが行われて補正されている。

第7章では、本実験の解析効率について述べられている。解析におけるカットパラメータの不定性、それに起因する解析効率の不確定性について議論している。信号の分離過程、宇宙線の影響、飛跡の選別などの過程における不確定性を議論し、その起源を辿り、例えばエネルギー較正の不定性に起因する検出効率の不確定性について定量的に議論されている。

最後に第8章では、本実験の結果と、その解釈、および将来の展望について述べられている。

先行実験の精度を凌駕するものではないが、これまで、長期間にわたって異なる手法による系統的な違いが生じている「中性子寿命」という極めて基礎的な物理量に対して、従来とは異なる新手法で測定を遂行し、最初の結果を得た仕事であり、その学術的な価値は大きい。統計精度は限定的だが、バックグラウンドの同定とその評価などをしっかりと行い、加速器が設計値で動けばこれまでの精度を凌駕する測定が行えることを示した。学位に十分に値する仕事である。

なお、本論文の一部は三島賢二氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析およびその取りまとめを行なったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。